

一种基于离线机器学习的 5G 扇区角度快速规划方法研究

陈照* 丁珣 王春凯

中国铁建电气化局集团有限公司, 中国·北京 100043

摘要: 当下 5G 网络商用越发成熟, 5G 在高速铁路上的应用研究也日益深入。由于高速铁路正线的组网特殊性, 5G 的网络规划优化也不同于传统大网的规划优化。对于正线的线状覆盖, 5G 的网络规划优化需要特别关注单站天线的覆盖效果。而传统的铁路网络规划主要通过人工手段, 依靠设计经验和反复测试验证, 较难高效快速寻找到单站天线覆盖的较优解。因此, 论文针对 5G 的正线单站单天线覆盖规划和优化, 提出一种基于离线机器学习的 5G 扇区角度快速规划方法。

关键词: 5G; 网络规划优化; 机器学习; 扇区角度

Research on a Fast 5G Sector Angle Planning Method based on Offline Machine Learning

Chen Zhao* Ding Xun Wang Chunkai

China Railway Construction Electrification Bureau Group Co. Ltd., Beijing, 100043, China

Abstract: At present, the commercial use of 5G networks is becoming more and more mature, and the application research of 5G on high-speed railways is also deepening day by day. Due to the special networking characteristics of the main line of high-speed railways, the network planning and optimization of 5G is also different from the planning and optimization of traditional large networks. For the linear coverage of the main line, the network planning and optimization of 5G needs to pay special attention to the coverage effect of single-station antennas. The traditional railway network planning mainly relies on manual means and design experience and repeated testing and verification, and it is relatively difficult to find an optimal solution for single-station antenna coverage efficiently and quickly. Therefore, for the coverage planning and optimization of single-station and single-antenna on the main line of 5G, this paper proposes a fast 5G sector angle planning method based on offline machine learning.

Keywords: 5G; Network planning and optimization; Machine learning; Sector angle

0 前言

当下 5G 网络商用越发成熟, 全国 5G 基站累计已经建设超 400 万个, 快速发展的 5G 网络技术推动了相关产业应用生态的逐步完善, 5G 在高速铁路上的应用研究也日益深入。

由于高速铁路正线的组网特殊性, 5G 的网络规划优化也不同于传统大网的规划优化。对于正线的线状覆盖, 5G 的网络规划优化需要特别关注基站的覆盖效果。

根据以往类似网络的规划经验以及通用的无线通信原理, 工程师凭借自身的知识和经验来确定扇区角度。例如, 在较为空旷、无明显遮挡的区域, 可能采用较大的扇区角度 (如 120°) 以实现更广的覆盖范围; 而在信号传播环境复杂的城市区域, 可能选择较小的扇区角度 (如 60° 或 90°), 以便更好地控制信号的传播方向和覆盖区域, 减少信号的散射和干扰。这种方法的优点是简单快捷, 在一些场景较为简单、类似项目经验丰富的情况下能够快速给出扇区角度规划方案。缺点是过度依赖个人经验, 对于复杂的、新

出现的场景可能适应性不足, 且不同工程师的经验差异可能导致规划结果的不一致性。

1 基站角度确定

解决传统的铁路网络规划方法较难, 为了高效快速寻找到最优的基站覆盖角度技术问题, 论文提供了一种基站角度确定的方法, 用于快速、准确的得到最优目标基站的覆盖目标角度。

首先需要获取目标基站的位置数据。通过精确的定位技术和数据采集手段, 可以准确地确定目标基站在地理空间中的具体坐标。

基于目标基站的位置数据, 在目标正线上划分对应的目标矩形等效区域。这一过程需要综合考虑多种因素, 如目标基站的覆盖范围、周边环境的影响等。通过仔细的分析和计算, 可以确定出一个合适的目标矩形等效区域, 并且得到该区域的尺寸数据。这些尺寸数据将为后续的角度计算提供重要的依据。

其次, 对目标基站的位置数据和目标矩形等效区域的

尺寸数据进行角度计算处理。在这个阶段，需要运用特定的数学模型和算法，对数据进行深入的分析和计算。通过精确的角度计算，可以得到对应的角度计算结果。这个结果将反映出目标基站与目标矩形等效区域之间的角度关系，为最终确定目标角度提供关键信息。

最后，基于角度计算结果，确定目标基站的目标角度。在这个步骤中，需要综合考虑各种因素，如信号覆盖需求、干扰情况等。通过对角度计算结果的分析 and 评估，可以确定出一个最优的目标角度，使得目标基站能够实现最佳的信号覆盖和性能表现（见图 1）。

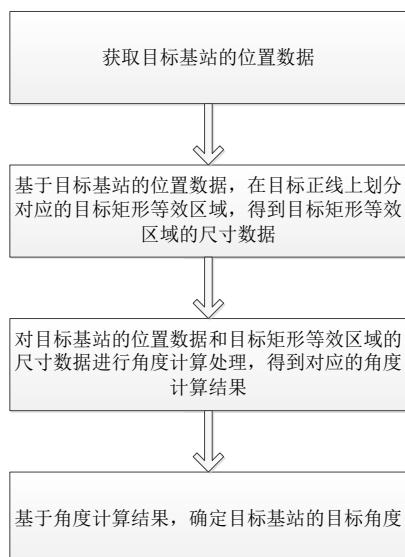


图 1 基站角度确定方法的流程示意图

2 矩形等效区域及基站的方位角和下倾角的标签设定

2.1 矩形等效区域

矩形等效区域的概念如图 2 所示。

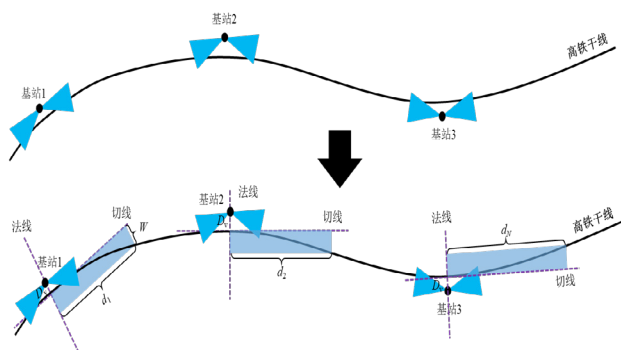


图 2 矩形等效区的概念

对正线而言，每个基站扇区指向覆盖的区域相对唯一，并主要指向正线自身。因此，可以根据既有基站的扇区指向，结合正线位置的地理栅格，将该扇区朝向的正线用矩形区域覆盖。矩形区域的长为等效正线覆盖长度 dn ；矩形

区域的宽 W 包括但不限于正线的线路信号覆盖宽度，正线区域的物理宽度等。这里， dn 与目标区域的站间距相关， $n \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$ 。N 表示不同基站覆盖距离样本的总数，例如： $d1=500, d2=550, \dots, dN=2000$ 。

2.2 基站的方位角和下倾角标签设定

由于正线的基站布站位置距离线路存在一个相对固定的距离 DV ，而基站高度与铁轨高度存在一个动态差值 hm 。等效正线覆盖长度 dn 与高度动态差值 hm 将作为标签与最优的下倾角和方位角方案一一对应，如下图 3 所示。

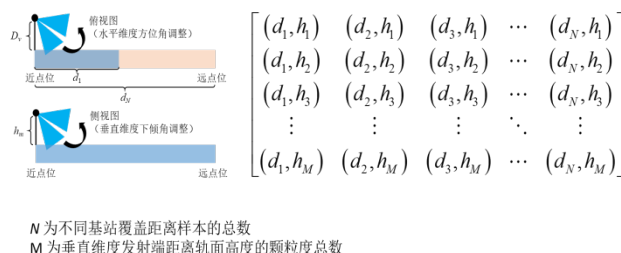


图 3 基站的方位角和下倾角标签设定

3 基于离线机器学习的 5G 扇区角快速规划方法

基于离线机器学习的 5G 扇区角快速规划方法整体流程如图 4 所示。

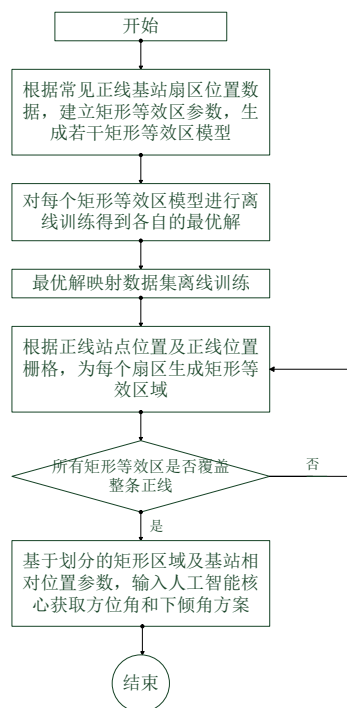


图 4 方案总体流程

本方案的整体步骤如下（整体流程见图 4）。

步骤 1：根据常见正线基站扇区位置数据，建立矩形等效区参数，生成若干矩形等效区域。在本步骤中，首先收集大量既有铁路线的正线基站扇区数据、正线位置栅格数据，

并根据上述矩形等效区和方位角下倾角的定义,整理出若干矩形等效区域模型分类标签。每个矩形等效区域分类,输入参数包括,但不限于,基站距离正线最近点的垂直距离 DV、基站铁轨的高度差 hm、等效正线覆盖长度 dn、线路信号覆盖区域宽度 W。其中,基站距离正线最近点的垂直距离 DV 与线路信号覆盖区域宽度 W 用于区域场景分类(包括但不限于,高架桥、路堑、城区、郊区、乡村等),基站铁轨的高度差 hm、等效正线覆盖长度 dn 用于该场景下的具体方案标签映射和训练。

步骤 2: 对每个矩形等效区模型进行离线训练得到各自的最优解。本步骤中,对步骤 1 的每个矩形等效区域进行基于机器学习的最优方位角和下倾角的选取。每个矩形等效区域中,通过不断调整扇区的方位角和下倾角,以覆盖预测的计算方法(包括但不限于,射线跟踪方法),得到在矩形区域内的覆盖率、最高接收功率电平(RSRP)、平均接收功率电平等覆盖效果指标。将最优覆盖结果对应的方位角和下倾角同高度差、覆盖长度构成映射关系,构建映射数据集。

步骤 3: 最优解映射数据集训练。将映射数据集分为训练集和验证集,通过离线人工智能算法(包括但不限于,机器学习、深度学习等)进行训练和验证。最终每个矩形等效区域标签均通过上述离线训练得到各自对应的最优解(下倾角值、方位角值)。

步骤 4: 根据正线站点位置及正线位置栅格,为每个扇区生成矩形等效区域。本步骤代入实际待规划的目标正线区域栅格数据、正线基站扇区位置数据,按照上述的矩形等效区域划分方法将正线区域划分为若干矩形等效区域。为保证覆盖的连续性,得到的所有矩形等效区需覆盖整条正线。

步骤 5: 基于划分的矩形区域及基站相对位置参数,输入人工智能核心获取方位角和下倾角方案。将步骤 4 中,实

地划分后的矩形区域所对应的基站铁轨的高度差 hm、等效正线覆盖长度 dn 作为输入,代入步骤 3 中已经训练好的人工智能算法核心中就可以得到正线的布站下倾角和方位角规划方案。

4 结语

本方案针对 5G 的正线单站单天线覆盖规划和优化,提出一种基于离线机器学习的 5G 扇区角快速规划方法。该方法可以根据正线组网环境特点,提出矩形等效区域,建立通用计算的模型框架,采用离线学习方式,针对不同的站间距及站高,事先得到模型对应的较优解,可结合实际正线分布,快速匹配对应模型,并应用已训练得到的较优解给出规划方案。通过使用本方案中的规划方法,有助于高效快速寻找到单站天线覆盖的较优解,在 5G 的网络规划优化领域中有着很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 盛屹涛,郑晓璇.基于DBSCAN聚类的基站选址与扇区角度规划研究[J].南通职业大学学报,2022,36(4):64-68.
- [2] 王海,翁晨傲,李克,等.一种面向基站扇区方向角估计的改进 SVM 算法[J].计算机工程,2021,47(4):120-126.
- [3] 王海,翁晨傲,李克,等.一种面向基站扇区方向角估计的改进 SVM 算法[J].计算机工程,2021,47(4):120-126.
- [4] 梁松柏,陈锋,宋海平,等.基于高斯分布的基站天线最佳方向角定位算法[J].电信科学,2018,34(7):128-134.
- [5] 罗昌腾.无线网络基站选址技术要求研究[J].电子制作,2015(14):51.
- [6] 丁珣,张俊笛,何丹萍,等.面向新一代铁路移动通信的网络规划技术研究[J].电波科学学报,2023,38(1):71-78.
- [7] 李江涛.5G 时代网络规划与优化的思考[J].中国新通信,2021,23(9):2.
- [8] 王玮.铁路 5G-R 网络特点及网络规划技术研究[J].中国铁路,2022(9):38-46.